

УДК 330.101

Сценарный подход к логическому моделированию систем рыночной экономики

Юдицкий С. А.

Цель работы: Предложена методология двухуровневого сценарного подхода к логическому моделированию поведения систем рыночной экономики. **Используемые методы:** На первом (верхнем) уровне выстраивается рамочный (абстрактный) сценарий, ориентированный на специалистов в предметной области, и на его основе выполняется предварительная формальная проверка корректности исходных знаний о поведении систем рыночной экономики (с фильтрацией соответствующих ошибок). На втором (нижнем) уровне рамочный сценарий преобразуется в детальное объектно-ориентированное описание – структурный сценарий, по которому проводится имитационное моделирование поведения систем рыночной экономики.

Ключевые слова: абстрактный сценарий, структурный сценарий, факторно-целевой анализ, ситуационный анализ, динамическое моделирование, поточная диаграмма, сеть Петри, жизненный цикл объектов, достижимость целей моделирования, конвейерно-временная диаграмма

Введение. Основные понятия

Системы рыночной экономики (СРЭ) отличаются рядом свойств, в том числе:

- продукция, выпускаемая СРЭ, поступает потребителю через рынок, т.е. потребитель может выбрать нужный ему продукт из множества возможных;
- ресурсы, потребляемые СРЭ, приобретаются через рынок;
- поведение СРЭ определяется потоками объектов (материальных, информационных, финансовых и т.д.), поступающими на вход, циркулирующими в системе и снимаемыми с ее выхода. В СРЭ может одновременно находиться множество объектов;
- поведение СРЭ направлено на достижение определенных поставленных перед ней целей;
- влияние среды, в которой функционирует СРЭ, характеризуется определенным набором факторов (экономических, политических, социальных), влияющих на достижимость целей.

Промоделировать поведение СРЭ – это значит определить характеристики действующих в системе объектных потоков и оценить степень достижения целей, указанных в сценарии. Наиболее популярны два вида сценариев. Согласно одному из них [8] сценарий определен как способ функционирования системы с известной архитектурой (структурой), и представляется последовательностями выполнения действий – операций. Второй вид сценария [9] – это способ достижения целей с учетом факторов влияния среды. Он не исходит из архитектуры, а является ее прообразом. Применительно к СРЭ будем различать сценарий ее поведения и сценарий создания (инжиниринга) либо перестройки (реинжиниринга) системы.

Сценарий характеризуется целями, факторами влияния, операциями, межоперационными связями [13]. Цели и факторы, соотнесенные сложной системе, как правило, структурированы, состоят из подцелей и подфакторов, те из своих, и т.д., вплоть до неразложимых (атомарных) величин. При большом числе атомарных величин выполняется факторно-целевой анализ СРЭ: с учетом мнения экспертов ранжируется список таких целей и список таких факторов влияния, и из списков отбираются наиболее значимые. Для сценариев инжиниринга-реинжиниринга наряду с факторно-целевым применяется ситуационный анализ. Суть его заключается в следующем. В процессе создания или перестройки СРЭ система проходит через ряд стадий, среди которых фиксируются начальная и заключительные ситуации, определяются переходы между ситуациями. Могут возникать новые (дополнительные) внутренние цели и факторы. Приписывая выбранным целям и факторам «лингвистические» значения (типа низкий, средний, высокий и т.д.) и отображая их на балльную шкалу, а также введя экспертные вероятностные оценки достижимости целей при различных значениях факторов, подбирается оптимальная с точки зрения достижимости целей область значений внешних и внутренних факторов.

Операции и межоперационные связи [13]. Операции по-разному определяются в абстрактном и структурном сценарии (*A*-сценарии и *C*-сценарии). В *A*-сценарии не учитывается внутренняя структура объектов, операция трактуется как «черный ящик». *C*-сценарий исходит из того, что известна внутренняя структура объектов, которым (а также ресурсам) сопоставляется набор свойств-атрибутов. Атрибуты принимают значения из некоторой области, эти значения могут изменяться по определенным правилам. Операция *C*-сценария представляет собой блок, в котором помещаются объекты с одинаковым набором атрибутов, различающиеся значениями атрибутов. Объекты проходят в операционном блоке через ряд состояний, образующих «жизненный цикл» в данном блоке. Таким образом, операция *C*-сценария трактуется как класс [2], экземпляры которого (объекты) «живут» в некотором пространстве. Внутри класса помещаются данные об атрибутах объектов и правила (методы), реализующие «жизненный цикл». Удаление объектов из класса и введение объектов в новый класс сопровождается изменением состава их атрибутов, которые могут наследоваться, уничтожаться и порождаться. Объект с другим составом атрибутов - это уже новый объект, живущий в новом классе. Следовательно, межоперационные связи (как в *A*-сценарии, так и в *C*-сценарии) отображают не передачу управления, а передачу и преобразование объектов. Операция характеризуется «операционными» целями (факторами), которые могут как совпадать с целями (факторами) сценария в целом, так и вводиться специально для данной операции.

Методология логического моделирования СРЭ состоит из следующих последовательных шагов:

- 1) Формирование *A*-сценария системы;
- 2) Моделирование динамики поведения на основе *A*-сценария;
- 3) Преобразование *A*-сценария в *C*-сценарий;

4) Моделирование динамики поведения на основе *C*-сценария.

На первом шаге выполняется факторно-целевой анализ, а при инжиниринге/реинжиниринге также и ситуационный анализ СРЭ. В результате устанавливаются и цели, и факторы влияния. Далее формируется статическое графическое представление *A*-сценария. На втором шаге статическое представление трансформируется в динамическое представление в виде сети Петри [4, 5, 7], и проводится аналитическое или/и имитационное моделирование этой сети. Если в ходе моделирования обнаруживаются ошибки в *A*-сценарии, то возвращаемся к первому шагу, и повторяем цикл до тех пор, пока *A*-сценарий не будет удовлетворять экспертов. Улавливание ошибок на уровне *A*-сценария позволяет не пропустить их в *C*-сценарий, представляющий собой более детальную и более сложную модель поведения СРЭ. Цена ошибок, обнаруженных в *C*-сценарии, может на несколько порядков превышать цену ошибок, устраненных на уровне *A*-сценария.

На третьем шаге *A*-сценарий преобразуется в *C*-сценарий (структурируются объекты и ресурсы, вводятся классы объектов и переходы между ними, определяется набор интегральных показателей функционирования СРЭ, задаются зависимости степени достижимости целей СРЭ от интегральных показателей и факторов влияния).

На четвертом шаге проводится имитационное моделирование *C*-сценария СРЭ с варьированием начальных условий. Результатом имитации являются оценка достижимости поставленных целей, интегральные характеристики работы СРЭ, временные графики для атрибутов объектов и ресурсов. По результатам имитационного моделирования решают вопрос о приемлемости *C*-сценария. При отрицательном решении возвращаются к третьему шагу и повторяют итерацию (на уровне *C*-сценария) необходимое число раз.

Формирование абстрактного сценария СРЭ

Как уже говорилось выше, построение *A*-сценария принято начинать с определения наиболее значимых целей, поставленных перед СРЭ, и наиболее эффективных факторов влияния на их выполнение. Определение значимости и эффективности имеет смысл лишь на больших множествах атомарных (простых) целей и факторов, и кроме того, что еще важнее, результат оценки субъективен и зависит от личности эксперта (коллективного мнения группы экспертов). Строгие и надежные методы ранжирования и отбора среди случайных объектов и субъектов вряд ли существуют. Да они, по мнению автора, и не так уж нужны. Позитив, который дают «нестрогие» методы, заключается в лучшем понимании процессов, протекающих в системах рыночной экономики, в повышении интеллектуального уровня экспертов, в приобретении опыта потребителями. Все это в не меньшей мере относится и к методу ситуационного анализа. Предположим, что факторно-целевой и ситуационный анализ на основе практикуемых способов дали некоторый набор целей, факторов и траекторий развития ситуации (пусть и неточных). Опираясь на эти данные как примеры, определим формально-графический

инструментарий первичного описания *A*-сценария в виде так называемой «поточной диаграммы» [13].

Описание A-сценария поточной диаграммой. *A*-сценарий задается ориентированным графом типа дерева, где корневая вершина A_0 отображает сценарий в целом, а внутренние вершины A_i , $i=1, \dots, n$, соответствуют операциям процесса в СРЭ. Операции связаны между собой и с внешней средой объектными и ресурсными потоками. Вершине A_i в описании нулевого уровня соответствует описание уровня 1 со своими внутренними вершинами A_{ij} , $j=1, \dots, m$, и т.д. Модуль поточной диаграммы, пример которого дан на рис. 1, имеет наружную рамку в виде прямоугольника со скругленными углами, внутри рамки помещается операционная структура. В рамку снаружи слева входят горизонтальные стрелки, помеченные входными потоками объектов и ресурсов, а справа из рамки выходят стрелки потоков выходных объектов. Сверху и снизу в рамку входят вертикальные стрелки, помеченные соответственно отобранными целями и факторами влияния. Одноименные внешние и внутренние стрелки отождествляются. Каждой выходной наружной стрелке сопоставляется строго одна выходная внутренняя стрелка, т.е. на выход модуля диаграммы поступает поток объектов лишь от одной внутренней операции.

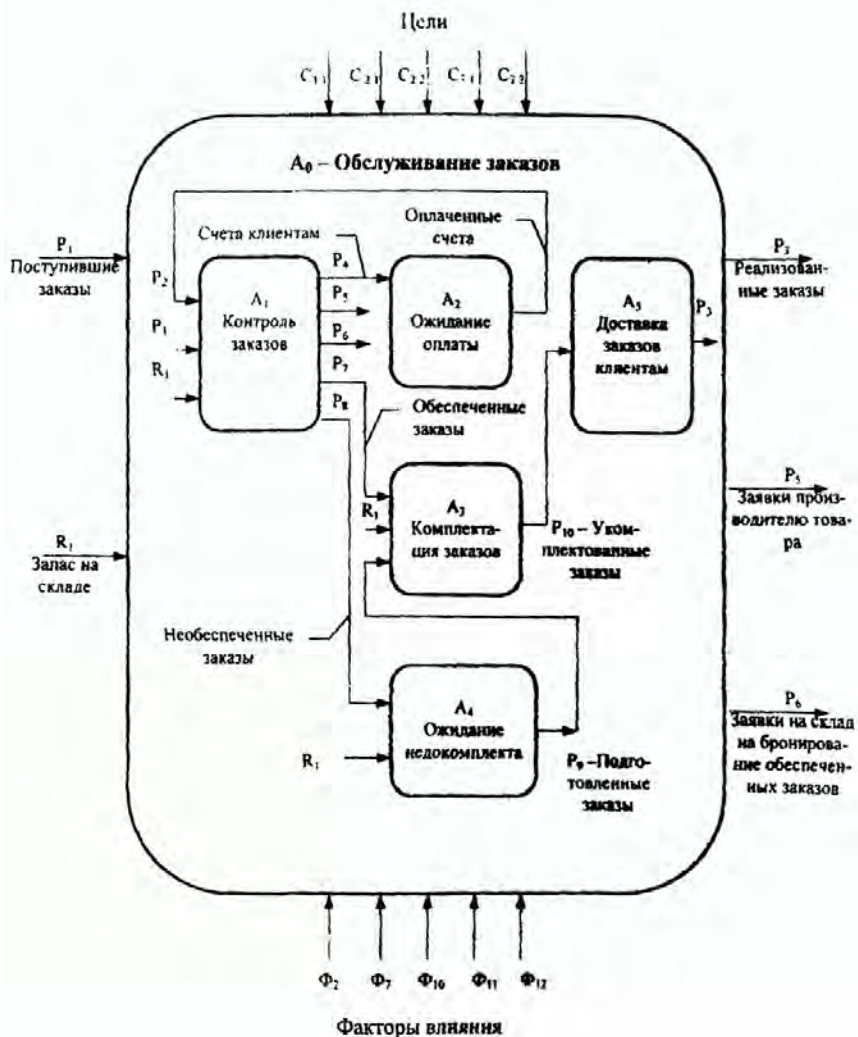


Рис. 1. *A*-сценарий СРЭ. Модуль A_0 поточной диаграммы

Рассмотрим подробнее функционирование модуля A_0 на рис. 1, описывающего обслуживание заказов населению. Поступающий на вход модуля поток P_1 заявок на заказы передается на операцию A_1 «контроль заказов», а поток R_1 материальных ресурсов со склада на операции A_1 , A_3 (комплектация заказов), A_4 (ожидание недокомплекта). Операция A_1 определяет обеспечен ли заказ товарами, имеющимися в данный момент на складе. Если имеется, то на склад передается заявка на бронирование этих товаров (выходной информационный поток P_6), а сами товары направляются на операцию A_3 для комплектации (внутренний поток P_7). Если товаров на складе нет, то заявка отправляется производителю товара (выходной поток P_5), а заявки передаются операции A_4 для ожидания недокомплекта (внутренний поток P_8). Операция A_1 , кроме того, формирует счета клиентам (внутренний поток P_4), которые передаются на операцию A_2 ожидания оплаты. Оплаченные счета (внутренний поток P_2) возвращаются на операцию A_1 . При составлении блока сценария A_0 предполагалось, что при выполнении A_1 обрабатываются только оплаченные заказы. Здесь сознательно в A -сценарий были внесены ошибки. Забегая вперед, скажем, что эти ошибки будут выявлены (и устранены) на этапе проверки корректности A -сценария.

Операция A_4 непрерывно проверяет достаточен ли ресурс R_1 для ожидающих заявок. Если некоторые из них становятся обеспеченными товаром, то они передаются операции A_3 (внутренний поток P_9), также, как и заявки из потока P_7 . Операция A_3 изымает из ресурса R_1 необходимые товары, уменьшая тем самым величину R_1 , и направляет укомплектованные заказы на операцию A_5 – доставку заказов клиентам (внутренний поток P_{10}). Операция A_5 формирует выходной поток P_3 реализованных заказов.

Внутренние операции «родительского» корневого модуля A_0 сценария развертываются в подобные модули, принадлежащие следующему уровню (их называют «потомками»). Согласованность родительского модуля и модулей-потомков проявляется в том, что внутренние вход-выходные потоки операций в родительском модуле наследуются модулем-потомком в качестве внешних потоков. Наряду с наследуемыми потомок может иметь и дополнительные внешние потоки, которые не учтены в родительском модуле. Аналогичное справедливо и для целей и факторов, с той особенностью, что наследоваться может только часть родительских целей (факторов), которые распределяются между потомками.

Логика преобразования потоков при реализации операций. Графическое описание потоковой диаграммы A -сценария будем дополнять логическими формулами, отображающими варианты преобразования потоков и ресурсов при срабатывании операции. В общем случае операция может иметь несколько входных и несколько выходных наборов, составленных из символов потоков и ресурсов, образующих различные вход-выходные пары. Особенностью этих пар является то, что входному набору соответствует один и тот же выходной набор. В логической формуле пару будем заключать в скобки, входной набор отделять от выходного стрелкой, при нескольких парах в формуле разделять скобки

знаком дизъюнкции (\vee). Диаграмме на рис. 1 соответствуют следующие формулы.

$$A_1: (P_1P_2R_1 \rightarrow P_4P_5P_6P_7R_1) \vee (P_1P_2R_1 \rightarrow P_4P_5P_6P_8R_1);$$

$$A_2: (P_4 \rightarrow P_2);$$

$$A_3: (P_7R_1 \rightarrow P_{10}) \vee (P_9R_1 \rightarrow P_{10});$$

$$A_4: (P_8R_1 \rightarrow P_9R_1);$$

$$A_5: (P_{10} \rightarrow P_3).$$

Обратим внимание на то, что в операциях A_1 и A_4 ресурс R_1 является одновременно входным и выходным. Это соответствует тому, что при выполнении указанных операций запас на складе принимается во внимание, но не расходуется.

Анализ абстрактного сценария СРЭ на основе сетей Петри

Краткие сведения о сетях Петри

Сеть Петри (СП) – это хорошо известная дискретная динамическая модель с наглядным графическим представлением. Классические определения СП – формальные. Однако в аспекте сценарно-логического моделирования СРЭ уместно напомнить и достаточно очевидные содержательные понятия, связанные со структурой, поведением и свойствами СП. Структура СП определена как ориентированный граф с двумя типами вершин – позициями и переходами, изображаемыми соответственно кружками и планками (черточками). Дуги в графе соединяют только вершины разного типа (двудольный граф). В позиции помещаются маркеры, изображаемые жирными точками. Число маркеров в позиции определяет ее состояние, а набор состояний всех позиций – состояние (маркировку) СП. Маркировка позиции и сети в целом является переменной величиной – функцией дискретного времени. Начальная маркировка СП указывается на ее рисунке. Пример структуры СП, заимствованный из [5], дан на рис. 2. Поведение СП определяется изменением ее маркировки, обусловленным срабатыванием переходов. Переход подготовлен для срабатывания (активирован), если в каждой его входной позиции есть по меньшей мере один маркер. При срабатывании перехода, которое происходит за нулевое время, т.е. мгновенно, из каждой его входной позиции удаляется, а в каждую выходную позицию вносится маркер.

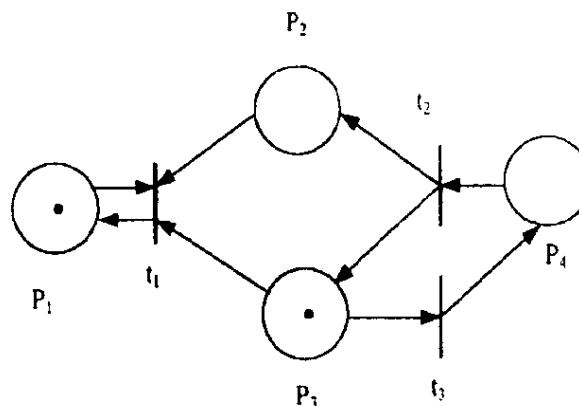


Рис. 2. Пример сети Петри

Анализ СП заключается в распознавании ряда свойств, к которым относятся: 1) Ограниченность (число маркеров в позиции не превышает величины ее емкости k , если $k=1$, то сеть называют безопасной); 2) Сохранение (число циркулирующих в сети маркеров постоянно); 3) Активность (переход называют активным, если в сети отсутствует маркировка, в которой он никогда не может активироваться, т.е. является тупиковым. Различают 5 разных уровней активности переходов); 4) Достижимость и покрываемость (маркировка достижима в СП, если существует цепочка срабатываний переходов, ведущая из начальной в данную маркировку. Маркировка M_1 покрывает маркировку M_2 , если все маркировки позиций в M_1 не меньше соответствующих маркировок в M_2 , но по меньшей мере одна строго больше); 5) Реализуемость последовательности переходов (определить «пройдет» ли в сети заданная последовательность переходов); 6) Эквивалентность (сети эквивалентны, если они имеют одинаковое поведение, определяемое множеством достижимых маркировок или множеством реализуемых последовательностей переходов).

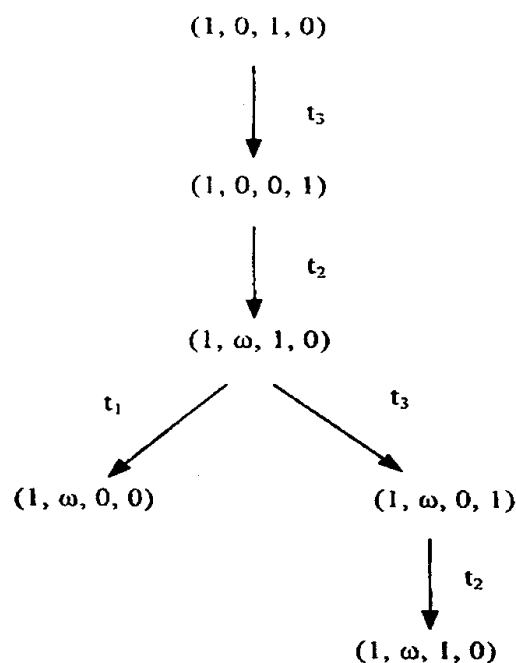


Рис. 3. Дерево достижимости для сети Петри на рис. 2

Для проверки корректности A-сценария СРЭ (поточной диаграммы) анализируются важнейшие свойства СП: ограниченность, отсутствие «тупиковых маркировок», отсутствие «ловушек» - циклов, не имеющих выхода. Анализ СП выполняется на основе дерева достижимости сети Петри (см. рис. 3), алгоритм построения которого описан в [5]. Неограниченность при описании маркировок позиций СП отображается специальным символом « ω », обозначающим бесконечность. Для любого постоянного « c » определены операции над w :

$$w + c = w, \text{ если } c < w;$$

$$w - c = w, \text{ если } w \leq c.$$

Преобразование абстрактного сценария СРЭ в адекватную сеть Петри и коррекция сценария

A-сценарий СРЭ будем считать корректным, если, во-первых, корректны все образующие его сценарные модули, и, во-вторых, модули корректно согласованы. Условия согласованности сценарных модулей обсуждались выше. Что касается проверки корректности модулей, то на уровне *A*-сценария для этой цели, как уже неоднократно говорилось, могут эффективно использоваться сети Петри. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Преобразование сценарного модуля в адекватную СП производится на основе следующей процедуры:

- для каждой операции удаляется входная (выходная) стрелка, и вместо нее внутрь рамки операции помещается входная (выходная) позиция, помеченная также, как и удаленная стрелка;
- каждой паре скобок в логической формуле преобразования потоков данной операции сопоставляется переход, также размещаемый внутри рамки операции;
- введенный переход соединяется с входными и выходными позициями согласно логической формуле;
- одинаково помеченные позиции, принадлежащие разным операциям, отождествляются.

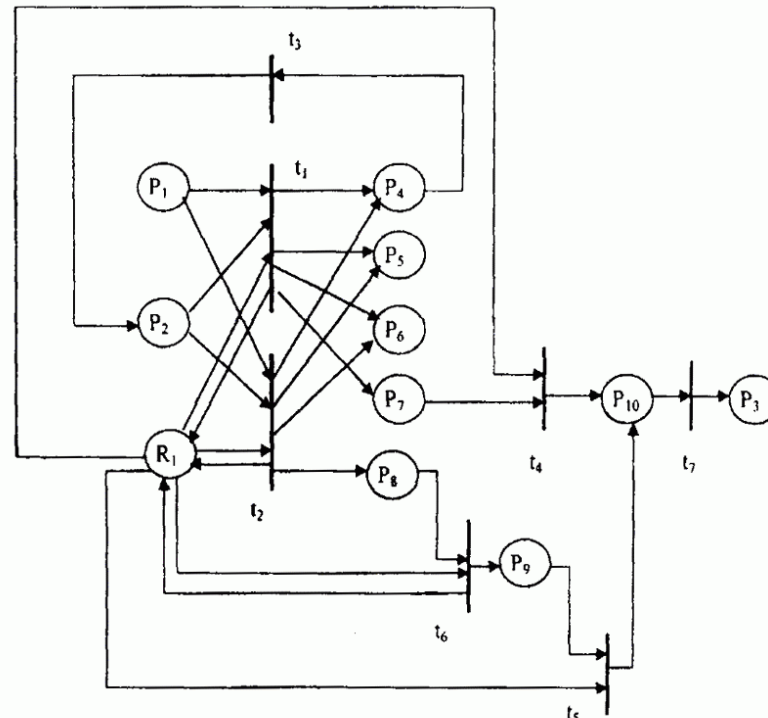


Рис.4. Результат преобразования сценарного модуля A_0 (рис.1)
в модуль сети Петри

Применение рассмотренной процедуры к сценарному модулю A_0 , изображенному на рис. 1, порождает модуль СП, приведенный на рис. 4.

Откорректированный с учетом преобразования в адекватную сеть Петри сценарный модуль верхнего уровня дан на рис. 5.

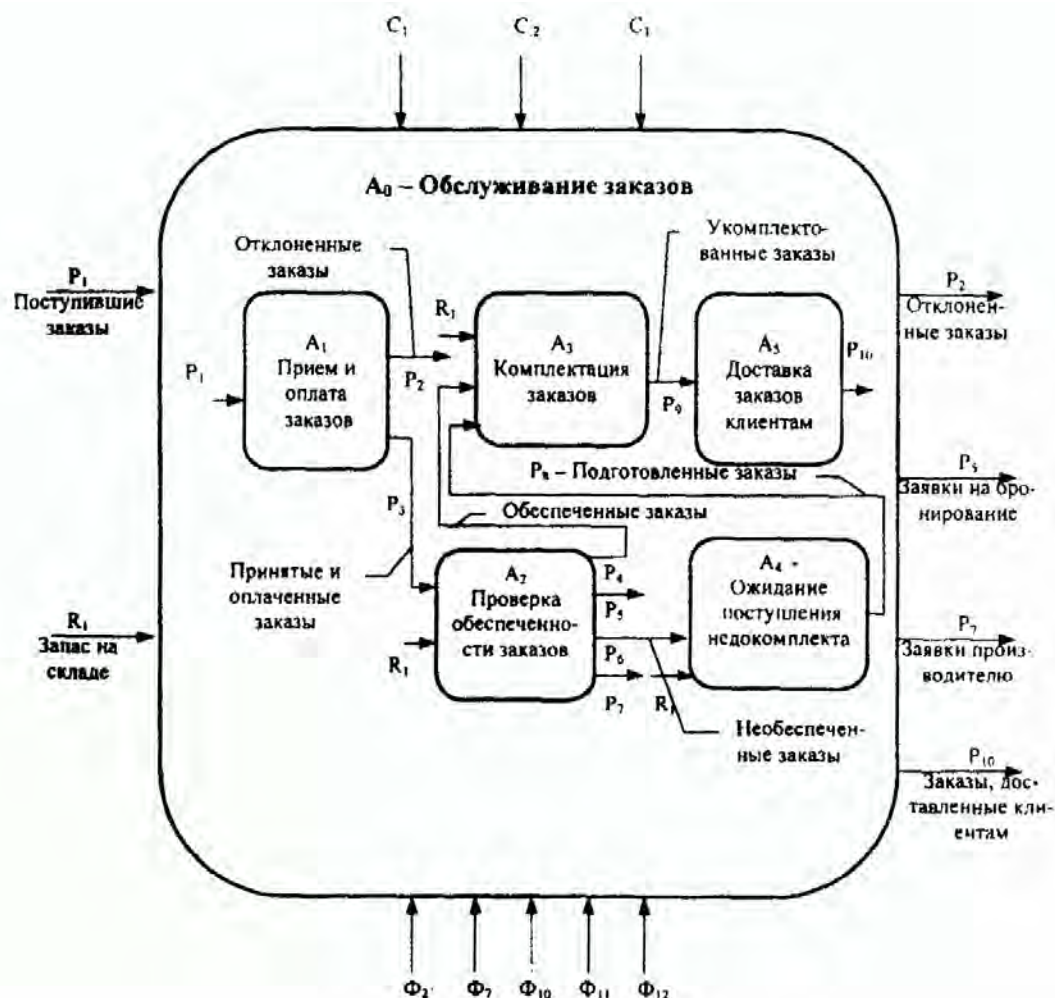


Рис. 5. Откорректированный сценарный модуль верхнего уровня

Формирование и анализ структурного сценария СРЭ

Эволюционно-потокосная диаграмма как модель С-сценария

С-сценарий представляет собой детализацию А-сценария с учетом эволюции мобильных объектов в ходе выполнения операций и передачи объектов от одних операций к другим. Эволюция объектов при выполнении операции проявляется в изменении значений их атрибутов, при переходах между операциями могут возникать «мутации» - порождение новых атрибутов и потеря ставших ненужными. Мутация сопровождается также наследованием определенных атрибутов. Таким образом, понятия эволюции и мутации имеют тот же смысл, что и для живых организмов.

Эволюцию объектов при обработке их конкретной операцией будем трактовать как последовательную смену состояний объектов, определяемую жизненным циклом этой операции. Все объекты, обрабатываемые операцией, имеют одно и то же множество атрибутов, набор значений которых и определяет состояние объекта. Чтобы проследить траекторию каждого объекта,

во множестве атрибутов операций выделяется ключевой атрибут (группа атрибутов). Значения ключевых атрибутов при прохождении объектами операционного жизненного цикла не изменяются.

Помимо эволюционных преобразований объектов операция осуществляет накопление и хранение поступающих на нее (входных) и обработанных ею (выходных) объектов, а также потребление необходимых для ее жизнедеятельности ресурсов. Операция представляет собой комплекс, в котором взаимосвязаны информационные данные и процедуры их обработки. Согласно парадигме объектно-ориентированного подхода [2, 3] операция *C*-сценария соответствует понятию «класс». Экземплярами класса являются «живущие» в нем объекты. Во взаимодействие между операциями (классами), сопровождаемыми мутациями атрибутов, может быть вовлечено несколько входных и выходных классов. При этом из входного класса в выходные может наследоваться, а в выходном классе порождаться определенное «свое» подмножество атрибутов.

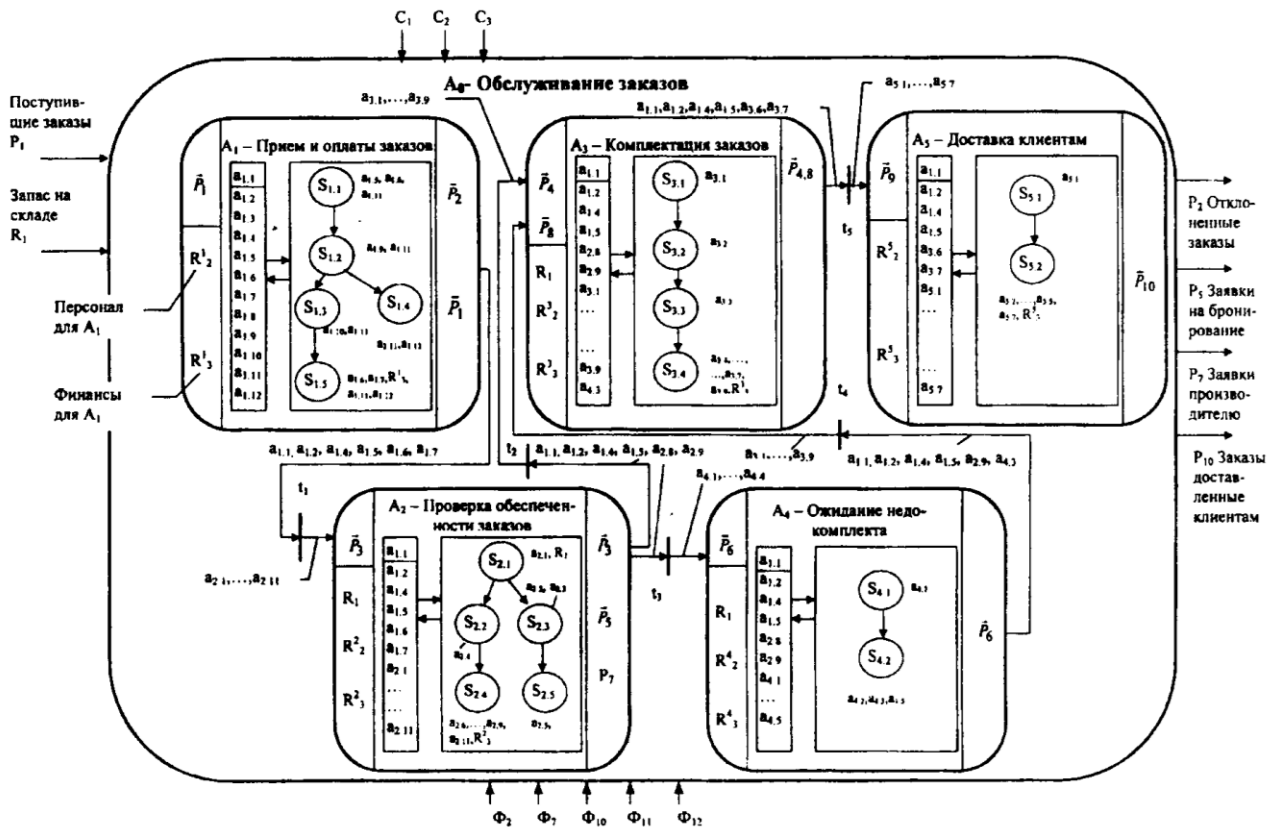


Рис. 6. Эволюционно-потокосая диаграмма для откорректированного А-сценария на рис. 5

Вышеизложенное подводит к тому, чтобы в качестве формальной основы для описания *C*-сценария СРЭ применить сеть Петри, позиции которой сопоставлены классам, а переходы – межклассовым взаимодействиям. Такое формальное представление *C*-сценария мы называем эволюционно-потокосой диаграммой – ЭП-диаграммой [12]. Пример ЭП-диаграммы для откорректированного *C*-сценария СРЭ (рис. 5) дан на рис. 6. Более детальное

описание графического и аналитического аппарата, примененного в ЭП-диаграммах, изложено в [13].

Как видно из ЭП-диаграммы, прохождение каждым объектом (в нашем примере заказом) своего жизненного цикла сопровождается изменением значений неключевых атрибутов в том столбце «внутренней» таблицы класса – протокола его работы во времени, который соответствует данному заказу, а также, возможно, сопровождается изменением состояния ресурсов. Указанные изменения будем называть внутриклассовыми преобразованиями в отличие от межклассовых преобразований, которые связаны с уничтожением («смертью») объектов в одних классах и их созданием («рождением») в других классах. Для каждого объекта характерна определенная «история жизни» в классе, которая описывается последовательностью наборов его атрибутов, привязанной к шкале реального времени. Истории жизни объектов в классах определяются в результате имитационного моделирования *S*-сценария СРЭ, и могут быть весьма полезны при принятии решений.

Динамическое моделирование СРЭ на основе *S*-сценария

Более подробно рассмотрим механизм функционирования поведенческой модели СРЭ на основе *S*-сценария. Каждый класс ЭП-диаграммы (рис. 6) работает автономно. Его взаимодействие с другими классами и внешней средой заключается во внесении во входные очереди новых объектов (ресурсов) и удалении из выходных очередей отработавших объектов. Внутри класса на рис. 6 помещены граф жизненного цикла объектов, где вершинами S_i представлены стадии цикла, а вертикальной таблицей слева от графа – набор атрибутов потока объектов, реализующих цикл. Между графом цикла и таблицей атрибутов осуществляется двустороннее взаимодействие (встречные стрелки).

Механизм работы поведенческой модели на уровне *S*-сценария проиллюстрируем схемой на рис. 7. Таблица слева от графа жизненного цикла (внутренняя таблица) содержит переменное число столбцов – по количеству объектов, находящихся в данный момент в вершинах графа. Каждому объекту соответствует набор значений атрибутов в своем столбце внутренней таблицы. Объекты, находящиеся во входной очереди класса, адресованы в начальную вершину графа жизненного цикла. Когда в этой вершине появляется свободное место, т.е. число объектов в ней меньше максимального, объект входной очереди, имеющий наибольший номер, удаляется из очереди и вносится во внутреннюю таблицу и начальную вершину графа. Входная очередь сдвигается на шаг вправо, а объект начинает реализацию своего жизненного цикла. Когда этот цикл завершен, соответствующий ему столбец удаляется из внутренней таблицы и вносится в выходную очередь на место с первым номером (если выходных очередей несколько, то выбор очереди определяется значением атрибутов объекта).

При срабатывании внешних переходов, для которых данный класс является родительским, из выходной очереди удаляется объект с наибольшим номером, а во входную очередь класса-потомка на место с номером 1 вносится

новый объект. Таблицы ресурсов взаимодействуют с графом жизненного цикла: в вершинах графа могут выполняться действия, приводящие к расходованию ресурсов, а при критическом снижении уровня ресурсов может блокироваться срабатывание переходов в графе цикла. Человеческий ресурс только блокирует переходы (одностороннее взаимодействие), финансовый ресурс как блокирует переходы, так и расходуется при выполнении жизненного цикла объектов или/и удалении объектов из выходной очереди (двустороннее взаимодействие).

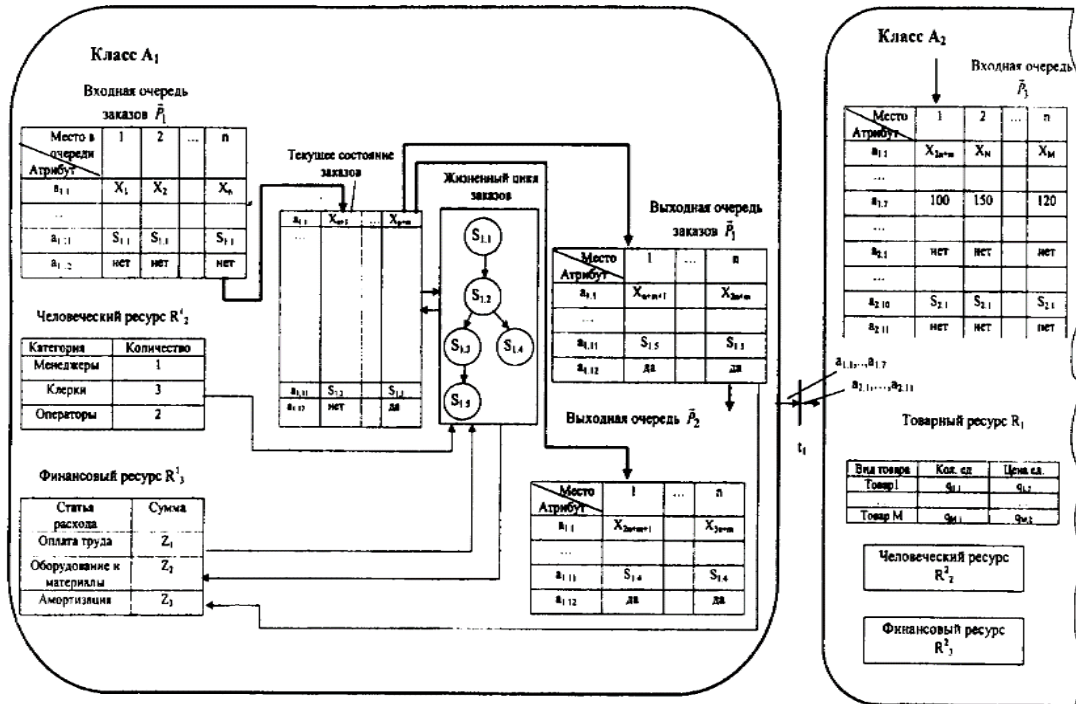


Рис. 7. Механизм функционирования модели, реализующей С-сценарий

Представление результатов моделирования С-сценария в виде конвейерно-временной диаграммы

Каждый объект в классе проходит через три фазы:

- 1) ожидает во входной очереди;
- 2) реализует жизненный цикл;
- 3) ожидает в выходной очереди.

Далее объект в данном классе уничтожается, но передает в класс-потомок атрибут-идентификатор и, возможно, некоторые другие наследуемые атрибуты. Цепочку объектов из разных классов с общим идентификатором называют метаобъектом [13]. Метаобъект проходит через систему по определенному маршруту, характеризуемому фазами пребывания объектов в классах и межклассовыми переходами. Метаобъекты запускаются в систему последовательно, один за другим, в так называемом параллельно-конвейерном режиме. Одновременно могут проходить свои маршруты несколько метаобъектов. Зависимость от времени изменений характеристик СРЭ при параллельно-конвейерной работе метаобъектов описывается конвейерно-временными диаграммами (КВД) [10, 11, 13].

Пример КВД дан на рис. 8. Она состоит из графика в системе координат «время – характеристика СРЭ» и набора так называемых метаобъектных шкал, размещенным ниже графика параллельно оси времени. Каждая такая шкала соответствует маршруту одного метаобъекта. На ней кружками показываются граничные точки - моменты изменения фазы метаобъекта внутри классов и его перехода из класса в класс. Кружки тех граничных точек, в которых происходит изменение моделируемой характеристики СРЭ, зачерняются.

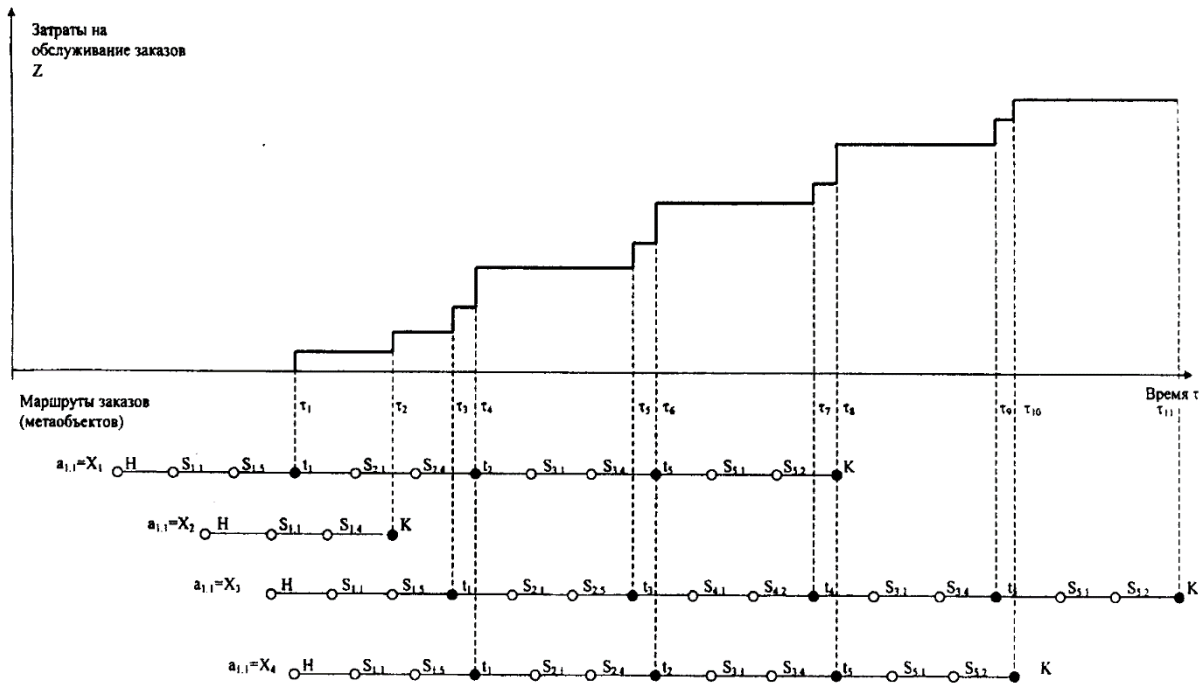


Рис. 8. Пример конвейерно-временной диаграммы для С-сценария на рис. 6

Начальная и конечная точки шкалы обозначаются соответственно H и K . Точки перехода метаобъектов из входной очереди на граф жизненного цикла обозначаются символом начальной вершины этого графа, а точки перехода из конечной вершины графа в выходную очередь – символом конечной вершины. Точки перехода метаобъекта из класса в класс обозначаются также как в С-сценарии, т.е. через t_i . Слева шкала помечается идентификатором соответствующего метаобъекта. Зачерненные граничные точки метаобъектных шкал проецируются на временную ось графика $Z=f(\tau)$ в виде моментов τ_1, \dots, τ_n . Значения ординат графика в моменты $\tau_i, i=1, \dots, n$, определяются в ходе имитационного моделирования С-сценария как значения соответствующих атрибутов. В момент τ_i значение ординаты графика может формироваться как результат воздействия нескольких параллельно работающих метаобъектов. В этом случае изменения характеристики СРЭ, инициируемые разными метаобъектами, суммируются. На интервалах между моментами, нанесенными на ось времени, значение функции Z не изменяется – график КВД представляет ступенчато возрастающую функцию.

Заключение

В заключение отметим пять характерных аспектов предлагаемой методологии логического моделирования поведения Систем Рыночной Экономики.

1. *Сценарный подход.* Существуют две противоречащие друг другу трактовки понятия «сценарий» и его связи с понятием «архитектура или реализация». Согласно первой трактовке, имеющих сторонников в технических и некоторых гуманитарных науках, сценарий определяется как способ функционирования системы с известной архитектурой, т.е. уже существующей системы, задающий очередность выполнения отдельных работ, диктуемых архитектурой. Иными словами, архитектура системы первична, сценарий вторичен. В сфере искусства (театр, кино, живопись, музыка и т.д.), да и в современной естественной науке, сценарий – это всего лишь эскиз (прообраз) новой системы, в которой много неясного и неопределенного, об архитектуре, а тем более о реализации, говорить еще рано. При второй трактовке (сценарий первичен, архитектура системы вторична) сценарий играет роль модели, разработка и исследование которой позволяет получить более полные полезные знания о создаваемой системе. Под таким углом зрения, по мнению автора, следует трактовать изложенный в работе «сценарный подход».

2. *Моделирование сценария проводится на абстрактном и структурном уровне. Интеграция процессо- и объектно-ориентированных подходов.* Моделирование поведения систем рыночной экономики проводится на двух уровнях – рамочном и детальном. Рамочный уровень соответствует абстрактному сценарию, детальный уровень – структурному. Абстрактный уровень дает самую общую картину поведения системы – отображает операции по достижению целей и потоки (материальные, информационные, финансовые), циркулирующие между системой и средой и внутри системы. Он соответствует стилю мышления специалистов в предметной области, т.е. процессо-ориентированному подходу. С другой стороны, он позволяет аналитически проверить корректность предварительных представлений специалистов о поведении моделируемой системы. В результате могут быть выявлены и исправлены ошибки, обнаружение которых на уровне детального сценария представляло бы гораздо более сложную проблему.

На втором уровне моделирования абстрактный сценарий преобразуется в структурный – детальное объектно-ориентированное описание движения в системе структурированных элементов потоков (объектов и ресурсов). Структурный сценарий трансформируется в программу, на основе которой проводится имитационное моделирование СРЭ. Двухуровневое моделирование сценария позволяет упростить процедуру анализа поведения системы, а также взаимно дополнить процессо-ориентированный и объектно-ориентированный подходы к ее проектированию.

3. *Применение формального аппарата сетей Петри для проверки корректности абстрактного сценария.* Аппарат сетей Петри позволяет адекватно отобразить динамику сложных систем, в том числе выполнение параллельных процессов. Однако методы моделирования на сетях Петри

достаточно трудоемки, а форма представления результатов (в виде дерева достижимости маркировок) громоздка и ненаглядна. Для упрощения процедуры анализа сети Петри был предложен алгоритм ее редукции, позволяющий без искажения поведения моделируемой системы «вырезать» из сети заведомо корректные фрагменты, а для остаточной части сети сформировать так называемую «ленту достижимости», отличающуюся компактностью и наглядностью [6, 13, 14]. На ее основе анализируется конфигурация *A*-сценария – проверяется отсутствие в нем «зависаний», циклов-ловушек, переполнений позиций, а также выполняет ли сценарий требуемые функции.

4. Моделирование структурного сценария: эволюция объектов при реализации ими жизненного цикла внутри классов и наследование/порождение признаков при взаимодействиях между классами. При преобразовании абстрактного сценария в структурный операции сопоставляются с классами. Класс условно можно представить как некоторый «мир», в котором обитают объекты с одинаковым набором признаков (атрибутов), различающиеся лишь значениями этих признаков. Объекты порождаются в классе и накапливаются во входной очереди на реализацию жизненного цикла. После прохождения жизненного цикла, сопровождаемого изменением значений признаков, объекты накапливаются в выходной очереди – на уничтожение. Жизнедеятельность процессов в классе обеспечивается потреблением ресурсов.

При наступлении события, определяемого ситуацией в данном классе-родителе и классе-потомке, объект в родительском классе удаляется из выходной очереди и уничтожается, а во входной очереди потомка порождается новый объект. Порожденный объект может наследовать некоторые признаки уничтоженного, но обязательно содержит новые признаки. Таким образом, имеет место явление, схожее с мутацией клеток при эволюции живых организмов. При имитационном моделировании структурного сценария определяются эволюционные изменения в объектах внутри классов, изменения наследуемых признаков при их миграции из класса в класс, а также статистические данные по отдельным классам и системе в целом. Результаты имитационного моделирования структурного сценария наглядно отображаются описанными выше конвейерно-временными диаграммами. Изложенное описание структурного сценария и механизма его моделирования подтверждает концепцию С. Бира [1] об аналогии между системами рыночной экономики и биологическими системами.

5. Локальное моделирование иерархических сценариев. Моделирование сложных иерархических сценариев может быть организовано как глобальная либо локальная процедура. В первом случае вначале итеративно создается полная иерархическая модель системы и лишь затем осуществляются имитационные эксперименты над ней. Во втором случае ведется последовательное послойное моделирование путем построения и анализа цепочки локальных моделей. Локальная модель каждого уровня (слоя) является достаточной в смысле возможности ее имитационного «прогона» и в тоже время прозрачной для пользователя и удобной для принятия решений на ее

основе. Навигация по локальным моделям производится как сверху вниз, так и снизу вверх. Локальное моделирование является, по нашему мнению, эффективным средством преодоления сложности, т.к. работать с несколькими простыми моделями легче, чем с одной сложной.

Литература

1. Бир С. Мозг фирмы: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993.
2. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++, – 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: изд. Бином, СПб: Невский диалект, 1998.
3. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML / Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000.
4. Котов В. Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
6. Таль А. А., Юдицкий С. А. Иерархия и параллелизм в сетях Петри // Автоматика и телемеханика. 1982. №7, №9.
7. Юдицкий С. А., Магергут В. З. Логическое управление дискретными процессами. – М.: Машиностроение, 1987.
8. Юдицкий С. А., Барон Ю. Л., Бишеле И. В. Схемно-ориентированная технология логического моделирования // Приборы и системы управления. 1996. №8.
9. Юдицкий С. А. Целевое моделирование организационных систем // Приборы и системы управления. 1999. №12.
10. Юдицкий С. А. Технология целевого моделирования бизнес-систем // Приборы и системы управления. 2000. №10.
11. Юдицкий С. А. Сценарно-целевой подход к системному анализу // Автоматика и телемеханика. 2001. №4.
12. Юдицкий С. А. Эволюция объектов в потоковой модели бизнес-систем. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. №11.
13. Юдицкий С. А. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем. – М.: СИНТЕГ, 2001.
14. Юдицкий С. А., Владиславлев П. Н. Основы предпроектного анализа организационных систем: Учеб. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005.

References

1. Beer Stafford. *Brain of the firm: the managerial cybernetics of organization*. New York: J. Wiley, 1981.
2. Booch Grady. *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*. 2-nd ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1998.
3. Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. *The Unified Modeling Language*. *Unix Review*, 1996.
4. Kotov V. E. *Seti Petri [Petri Nets]*. Moscow, Nauka, 1984 (in Russian).
5. Peterson J. L. *Petri Net Theory And The Modeling Of Systems*, 1981.

6. Tal' A. A., Iuditskii S. A. Hierarch and Parallelism Petri Nets. *Automation and Remote Control*, no. 7, no. 9, 1982 (in Russian).
7. Iuditskii S. A., Magergut V. Z. *Logicheskoe upravlenie diskretnymi protsessami* [Logical Control of Discrete Processes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987 (in Russian).
8. Iuditskii S. A., Baron Iu. L., Bishel' I. V. Skhemno-orientirovannaya tekhnologiya logicheskogo modelirovaniia [Circuit-Oriented Logic Simulation Technology]. *Pribory i sistemy upravleniia*, 1996, no. 8 (in Russian).
9. Iuditskii S. A. Tselevoe modelirovanie organizatsionnykh system [Target Modeling Organizational Systems]. *Pribory i sistemy upravleniia*, 1999, no. 12 (in Russian).
10. Iuditskii S. A. Tekhnologiya tselevogo modelirovaniia biznes-sistem [Technology the Task of Modeling Business Systems]. *Pribory i sistemy upravleniia*, 2000, no. 10 (in Russian).
11. Iuditskii S. A. Stsenarno-tselevoi podkhod k sistemnomu analizu [Scenary-Oriented Approach to System Analysis]. *Automation and Remote Control*, 2001, no. 4 (in Russian).
12. Iuditskii S. A. Evoliutsiia ob"ektov v potokovoi modeli biznes-sistem [Evolution of Objects in the Stream Model Business Systems]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2001, no. 11 (in Russian).
13. Iuditskii S. A. *Stsenarnyi podkhod k modelirovaniu povedeniia biznes-sistem* [Scenary Approach to Modelling for Business Systems]. Moscow, Sinteg Publ., 2001 (in Russian).
14. Iuditskii S. A., Vladislavlev P. N. *Osnovy predproektnogo analiza organizatsionnykh system* [The Basics of Pre-Analysis of Organizational Systems]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2005 (in Russian).

Статья поступила 20 июля 2015 г.

Информация об авторах

Юдицкий Семен Абрамович - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова. Область научных интересов: моделирование организационно-технических систем. Тел. +7 495 339 59 10. E-mail: yuseab32@yandex.ru

Адрес: Россия, 117997, Москва ул. Профсоюзная, д. 65.

The Scenary Approach to the Logical Modeling of Systems of a Market Economy

Iuditskii S. A.

Statement of the problem. Methodology a two-level scenary approach proposed for logic simulation of the behavior of the market economy. *Methods:* framework (abstract) scenary builds on the first

(top) level. This script is oriented to specialists in the subject area. On the basis of the framework (abstract) script checks the correctness of the source of knowledge about the behavior of systems of a market economy (with filtering of the relevant errors). On the second (bottom) level of the framework, the script is converted into a detailed object-oriented description of a structural scenary in which simulation is the modeling of the behavior of the market economy.

Key words: abstract scenary, structural scenary, factor-target analysis, situation scenary, dynamic simulation, stream diagram, Petri net, the life cycle of objects, attainability aim modeling, conveyor-time diagram

Information about Author

Iuditskii Semen Abramovich - Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor, Senior Research Officer of Institute of Control Sciences RAS. Field of research: modeling of organizational and technical systems. Tel.:+7 495 339 59 10. E-mail: yuseab32@yandex.ru

Address: Russia, 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 65.